

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

電波トランジェント天体の等方分布
及び Fermi ガンマ線源の電波変動検出

Isotropy in the Distribution of Radio Transients
and the Detection of Radio Variability in Fermi
Gamma-ray Sources

申 請 者

貴田	寿美子
Kida	Sumiko

物理学及応用物理学専攻 実験天体物理学研究

2009 年 12 月

現在、世界の電波望遠鏡の多くはアンテナ間の基線長を少しずつ変化させることにより、長時間かけて細密な像を描くことを目的としたフーリエ合成干渉計(間接像合成方式)である。1960年代にケンブリッジ大学により開発されたこの方式は入力信号がエルゴード性(時間平均 = 集合平均)であることが要求される。変動のない定常的な電波源はエルゴード性を満たすため、この方式で細密な像を結ぶことが可能である。しかし、パルサーや突発的に強度変化を起こすトランジェント現象は非エルゴード性であり、この方式で検出することは不可能である。一方、早稲田大学が開発したナイキストレート空間FFT干渉計(直接像合成方式)はリアルタイムで像を描くことが可能である。1998年から2003年にかけて栃木県那須塩原市の自由学園那須農場内に建設された9機電波望遠鏡はこの直接像合成方式であり、急速に変化する非エルゴード性の現象の検出に有効な電波望遠鏡である。また、大型電波望遠鏡は集光能力に長けているが、感度は一方向にしか持てない。従って一度に広い領域を観測することは困難である。しかし那須観測所の電波望遠鏡はこの問題を克服し、同時に多方向の感度を持つことが可能である。これらの特徴から早稲田大学が開発した電波望遠鏡は、広い領域から急速な時間変動を起こす電波現象を検出することに長けている。

早稲田大学那須パルサー観測所には直径20mの固定球面鏡8機と直径30mの固定球面鏡1機がある。これら9機の望遠鏡は一般的なパラボラ望遠鏡とは異なり、球面の主鏡は地面に固定され、副鏡とホーンを回転させることにより観測方位を変化させる。曲率一定の球面を主鏡に使用することによりパラボラよりも安価で大型な望遠鏡を作ることが可能にさせた。これらの独自の工夫を凝らした電波望遠鏡を用いて2004年から広域電波トランジェント探索が開始された。

本論文では、第一に那須観測所20m鏡のビームの形状や今までの4倍密な電波マップについて述べる。第二に著者が発見した2個の電波トランジェントの候補天体やLuminosityのシミュレーションについて述べる。共同研究者らによって検出された4個の電波トランジェントと著者の発見した2個を統計することにより、分布と検出確率の上限値を見積もった結果を述べる。第三に2008年に打ち上げられたガンマ線衛星Fermiにより検出されたガンマ線源の電波変動について述べる。ガンマ線と電波のフラックス強度変化の相関関係について述べる。

本論文第一章は序論である。那須観測所の現在の状況と現在に至る開発の暦を述べる。また世界の電波望遠鏡との比較により那須観測所の望遠鏡の特徴を述べる。

本論文第二章は20m鏡のビーム形状を円形開口の回折縞の強度分布から理論的に求め、さらに実際のデータ解析から観測的にも求めた。この結果、理論的にも観測的にもHalf Power Beam Width (HPBW)は約0.6度あることが判明した。以前はビームのHPBWはCyg-Aの観測により約0.8度であるという結論が出ていた(水木2000修論)。しかしながらCyg-Aは非常に強いフラックスを持つ電波源である

ため、2000 年当時の観測でサチュレーションが起こっていた可能性が非常に高い。そのためにピーク部が実際よりも潰れた形で検出されていたと推測できる。この原因により実際よりも広い HPBW が求められていたと考えられる。本論文の結果により赤緯方向のエラーが小さくなった。これにより電波トランジェントの候補天体をより絞り易くなった。

本論文第三章は赤緯 32 度から 33 度の電波地図を示す。那須観測所の 20m 鏡はおおよそ赤緯 32 度から 42 度を観測可能範囲としている。著者は修士 1 年次より赤緯 32 度から 33 度のデータ解析を行ってきた。2007 年に岳藤により赤緯方向に 0.5 度刻みの電波地図が制作された。この電波地図は "Quick-look Data Analysis (Takwfuji et al, 2008)" で解析した後に得られる帯状のカラーデータを並べることにより制作された。データは積分せずに一日毎のデータが使用された。この電波地図によりフラックスが 1Jy 以上の電波源が同定され、赤緯 32 度から 33 度の範囲では 30 電波源が同定されていた。著者は赤緯 32 度から 33 度を赤緯方向に 0.125 度刻みで詳細に観測し、データは各赤緯で 7 日分から 10 日分を積分した。これにより検出感度が向上し、400mJy 以上の電波源は 95% が同定された。赤緯 32 度から 33 度の範囲で約 100 電波源が検出され、岳藤による電波地図の 3 倍以上の検出に成功した。また電波地図はより見易くするために等高線状のマップを制作した。これらの結果は電波トランジェントのアラートシステムのテンプレートや他機関での高感度観測のガイドとして使用されている。

本論文第四章は 2005 年に著者により発見された 2 個の電波トランジェントについて述べる。この 2 個の電波トランジェントは共に 1 日のみ突発的に 1Jy 以上の強いフラックスが検出された。1 つ目は非常に高銀緯 (+61 度) に位置し、候補天体の 1 つにキューサー CS0 53 が含まれていた。2 つ目は中銀緯 (+12 度) に位置し候補天体の 1 つに X 線源が含まれていた。この 2 個の電波トランジェントの共通点は非常に強度が強いことである。従って、相対論的なビーミング効果を受けて強度が強くなったと仮定し、Luminosity を見積もった。ビーミング効果を受けることにより、電波トランジェントは 3 桁から 4 桁ほど増光して検出された可能性が明らかになった。従って、数百 μ Jy ~ 数 mJy レベルのバーストがビーミング効果により ~ 1Jy レベルに検出されたと考えられる。

著者が発見した 2 個に、共同研究者らによって発見された 4 個の電波トランジェントを加えた 6 個の電波トランジェントで統計的な評価を行った。これら 6 個の特徴は検出強度が全て 1Jy 以上で、バースト継続時間が 4 分から 3 日間の間である。また、位置する座標は銀河面に集中することなく低銀緯から高銀緯に散らばっている。著者はこれら 6 個を $\log N$ - $\log S$ 図上にプロットし、等方性を検証した。その結果、等方性を示す傾き -3/2 の直線と相関係数 0.93 の相関関係を示した。即ち、これら 6 個の電波トランジェントは等方的に分布していることが示された。等方的に分布していることから、これらが位置するのは太陽系のごく近傍

か宇宙論的距離に近い場所である。6 個の電波トランジェントが夫々持つ候補天体から推測するに、前者である可能性は極めて低いと考えられる。また、等方的分布の仮定に基づくと、全天における電波トランジェントの検出確率は $0.0049 \text{ deg}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と求められた。この結果と Bower et al, 2007 によって VLA のアーカイバルデータから検出された 10^{-4} Jy クラスの電波トランジェントを同じ $\log N - \log S$ 図上にプロットすると、強度が弱いほど傾き $-3/2$ から離れ、傾きが緩やかになる傾向にあった。この傾向はガンマ線バーストの $\log N - \log S$ 図でも示されている通り宇宙論的距離に位置していることを示唆している。従ってこれらの分布の評価から著者らが検出した電波トランジェントは宇宙論的距離に位置するイベントである可能性が高い。

これらのトランジェントの起源は現在、未知である。しかし、著者の論文 (Kida et al, 2008) を基に Ofek, E. O. et al, によって書かれた論文 (Ofek et al, arXiv:0910.3676v1) では理論的に孤立した古い中性子星が起源ではないかと主張されている。このように著者らの検出を基に多方面でトランジェント研究が盛んに取り組まれている。

本論文第五章は 2008 年に打ち上げられたガンマ線衛星 Fermi の Large Area Telescope (LAT) によりガンマ線が検出された源の電波変動について述べる。ガンマ線が検出された 2008 年以前の観測データを基に、2004 年から 2007 年における電波 (1.42 GHz) の強度変化を評価した。那須観測所では広域観測を行っているため、誰も注目していなかった時期の Fermi ガンマ線源のデータを得ることができた。那須観測所の観測範囲内には 7 個の Fermi LAT 源が含まれている。本論文ではこの内の 4 源について述べる。4 源の内 2 源は電波 (1.42 GHz) で 90 年代半ばから 00 年代半ばにかけて強度が強くなっている。一方、ガンマ線は EGRET (1991 年 - 2000 年) によっては検出されておらず、2008 年の Fermi によってのみ検出されている。従ってこの 2 源は電波、ガンマ線の双方で 90 年代から 00 年代に強度が強くなっている。一般的にガンマ線放射と電波放射の関係はガンマ線放射が強まり、数か月後電波放射が強まるという順序で起こっていると言われている。この放射順序に忠実に考えると、この 2 源は LAT によってガンマ線が検出された 2008 年よりも以前の 2004 年頃から 2007 年頃には活動状態が始まっていた可能性が高い。4 源の内 1 源は電波 (1.42 GHz)、ガンマ線の双方で強度が弱くなっている。残りの 1 源は電波 (1.42 GHz)、ガンマ線の双方でほぼ変化が見られなかった。これらの 4 源は全て電波とガンマ線でフラックス強度変化に相関がある結果となった。

最後に第六章は以上を総括すると共に、今後行うべき課題と期待される展望を述べる。

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

氏名 貴田 寿美子 印

(2009 年 12 月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文 (学会誌)	「Radio variability of a Fermi LAT bright source 0FGL J1847.8+3223」 The Astrophysical Journal Letter, 投稿中 Kida. S, T. Tanaka, Aoki. T, Asuma. K, Imai. A, Nakagawa. S, Uehara. H, Miyata. H, Akamatsu. H and Daishido. T
論文 (学会誌)	「Two strong radio bursts at high and medium Galactic latitude」 New Astronomy , Volume 13, Issue 7, pp. 519-525 (October, 2008) S.Kida, K.Niinuma, S.Suzuki, T.Tanaka, R.Namakura, K.Takefuji, N.Matsumura, M.Kuniyoshi , T.Daishido
論文 (会議録)	「PHYSICS OF SELF-ORGANIZATION SYSTEMS」 World Scientific , pp. 209-218 (April, 2008) S.Kida & T.Daishido
論文 (学会誌)	「DISCOVERY OF TWO RADIO TRANSIENTS AT HIGH GALACTIC LATITUDE IN A 1.4 GHz DRIFT-SCAN SURVEY」 The Astrophysical Journal, Volume 704, pp.652-660 (October, 2009) K. Niinuma, T. Daishido, N. Matsumura, K. Takefuji, M. Kuniyoshi, K. Asuma, S. Kida, T. Tanaka, T. Aoki, S. Ishikawa, K. Hirano, H. Uehara, and S. Nakagawa
論文 (学会誌)	「THE CLOSELY POSITIONED THREE RADIO TRANSIENTS IN THE NASU 1.4 GHz WIDE-FIELD SURVEY」 The Astronomical Journal, Volume138, Issue 3, pp.787-795 (September, 2009) N. Matsumura, K. Niinuma, M. Kuniyoshi, K. Takefuji, K. Asuma, T. Daishido, S. Kida, T. Tanaka, T. Aoki, S. Ishikawa, K. Hirano and S. Nakagawa
論文 (学会誌)	「Two 1.4GHz Sky Atlases at Declination 32° to 42° in Nasu Radio-Transient Search Project」 The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 120, Issue 865, pp. 339-347 (February, 2008) K.Takefuji, K.Asuma, M.Kuniyoshi, N.Matsumura, K.Niinuma, S.Kida, R.Namakura, T.Tanaka, S.Suzuki, S.Ishikawa, T.Aoki, K.Hirano, T.Daishido
論文 (学会誌)	「Quick-Look Data Analysis in the Nasu Radio Transient Search Project」 The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 119, Issue 860, pp.1145-1151 (October, 2007) K.Takefuji, K.Asuma, M.Kuniyoshi, N.Matsumura, K.Niinuma, S.Kida, R.Namakura, T.Tanaka, S.Suzuki, S.Ishikawa, T.Aoki, K.Hirano, T.Daishido
論文 (学会誌)	「High Galactic and Low Galactic Latitude Radio Transients in Nasu 1.4GHz Wide-Field Survey」 The Astronomical Journal, Volume 133, Issue 4, pp. 1441-1446 (April, 2007)

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文 (学会誌)	Matsumura.N, Daishido.T, Kuniyoshi.M, Asuma.K, Takefuji.K, Niinuma.K, <u>Kida.S</u> , Takeuchi.A, Nakamura.R, Shigehiro.S, Tanaka.T 「A 3 Jy Radio Burst at a High Galactic Latitude」 The Astrophysical Journal Letter , Volume 657, No. 1, pp. L37-L40 (March, 2007) K.Niinuma, K.Asuma, M.Kuniyoshi, N.Matsumura, K.Takefuji, S.Kida, A.Takeuchi, R.Namakura, T.Tanaka, S.Suzuki, T.Daishido
論文 (学会誌)	「Receiver Gain Calibration for Radio Observations at the Waseda Nasu Pulsar Observatory」 The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 119, Issue 851, pp. 112-121(January, 2007) K.Niinuma, M.Kuniyoshi, N.Matsumura, K.Takefuji, S.Kida, A.Takeuchi, R.Namakura, T.Tanaka, S.Suzuki, T.Daishido
論文 (学会誌)	「A Strong Radio Transient at High Galactic Latitude」 The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 119, Issue 851, pp. 122-126 (January,2007) Kuniyoshi.M, T.Daishido, N.Matsumura, K.Takefuji, K.Niinuma, S.Kida, A.Takeuchi, R.Namakura, Y.Nakayama, S.Suzuki
論文 (学会誌)	「The Automatic Radio Burst Search System at Nasu Observatory」 The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 118, Issue 844, pp. 901-906 (June, 2006) M.Kuniyoshi, T.Daishido, K.Asuma, N.Matsumura, K.Takefuji, K.Niinuma, S.Kida, A.Takeuchi, R.Namakura, Y.Nakayama, S.Suzuki
講演 (国際会議)	「Radio survey of Fermi LAT bright sources region at declination 32--42 degree」 2009 Fermi Symposium (November, 2009) S. Kida, T.Tanaka, T.Aoki, K. Asuma, A. Imai, S. Nakagawa, H. Uehara, H. AAlamatsu, H. Miyata, T. Daishido
講演 (国際会議)	「Six Strong Radio Transients with Isotropic Distribution」 URSI General Assembly (XXIXth URSI GA) (August, 2008) S. Kida. K. Niinuma , K. Takefuji , N. Matsumura , T. Daishido
講演 (国際会議)	「Two Strong Radio Bursts at High and Medium Galactic Latitude」 ポスター賞受賞 Toward Next Generation Physics (The 5th 21st century COE symposium on Physics of Self-organization Systems) (September. 2007) S. Kida. T. Daishido
講演 (国際会議)	「The Automatic Radio Burst Search System at Nasu Observatory」 26thGeneral Assembly of the IAU, Joint Discussion 12: Long Wavelength Astrophysics (August 2006)

早稲田大学 博士（理学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 (国際会議)	Kuniyoshi, M., Asuma, K., Mastumura, N., Takefuji, K., Niinuma, K., Kida, S., Takeuchi, A., Suzuki, S., Nakamura, R., Tanaka, T., Aoki, T., Isikawa, S., Takiyama, D., Daisido, T. 「A search for transient radio sources with the Waseda Nasu Array」 New Techniques and Results in Low Frequency Radio Astronomy Conference, Hobart Tasmania, Australia (December 2005) Kuniyoshi, M., Daishido, T., Asuma, K., Matsumura, N., Takefuji, K., Niinuma, K., Takeuchi, A., Kida, S., Suzuki, S., Nakamura, R., and Nakayama, Y.
講演 (国内学会)	「赤緯 32° - 33° の 1.42 GHz Radio Atlas」 2009 年日本天文学会秋季年会（2009 年 9 月） 貴田 寿美子、田中 泰、青木 貴弘、遊馬 邦之、中川 翔、上原 宏明、赤松 秀一、今井 章人、宮田 英明、大師堂 経明
講演 (国内学会)	「1.4GHz における長期変動性電波源の検出」 2009 年日本天文学会春季年会（2009 年 3 月） 貴田寿美子、新沼浩太郎、田中泰、青木貴宏、石川聖、平野賢、上原 宏明、中川翔、大師堂経明、遊馬邦之
講演 (国内学会)	「6 個の WJN トランジェント電波源の統計的評価」 2008 日本天文学会秋季年会（2008 年 9 月） 貴田寿美子、新沼浩太郎、田中泰、青木貴宏、石川聖、平野賢、中川翔、大師堂経明、岳藤一宏、松村寛夫、国吉雅也、遊馬邦之
講演 (国内学会)	「那須観測所における受信機冷却による低雑音化への取り組み 3」 2008 年日本天文学会秋季年会(2008 年 9 月) 貴田寿美子、新沼浩太郎、鈴木繁広、田中泰、中村亮介、青木貴宏、石川聖、平野賢、大師堂経明、岳藤一宏、松村寛夫、国吉雅也、遊馬邦之
講演 (国内学会)	「那須観測所における受信機冷却による低雑音化への取り組み 2」 2007 年日本天文学会秋季年会(2007 年 9 月) 貴田寿美子、新沼浩太郎、鈴木繁広、田中泰、中村亮介、青木貴宏、石川聖、平野賢、岳藤一宏、大師堂経明、松村寛夫、国吉雅也、遊馬邦之
講演 (国内学会)	「那須観測所における受信機冷却による低雑音化への取り組み 1」 2007 年日本天文学会春季年会(2007 年 3 月) 貴田寿美子、岳藤一宏、新沼浩太郎、竹内暁彦、鈴木繁広、田中泰、中村亮介、青木貴宏、石川聖、松村寛夫、国吉雅也、遊馬邦之、大師堂経明 以上の他に第一著者としての国内学会・研究会での講演 5 件